

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-7204
(P2001-7204A)

(43) 公開日 平成13年1月12日 (2001.1.12)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 L 21/768
21/28
21/3205

識別記号

3 0 1

F I

H 0 1 L 21/90
21/28
21/88

テーマコード (参考)

A 4 M 1 0 4
3 0 1 R 5 F 0 3 3
R
M

審査請求 有 請求項の数27 書面 (全 19 頁)

(21) 出願番号

特願平11-214110

(22) 出願日

平成11年6月24日 (1999.6.24)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社
東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 田上 政由

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
式会社内

(72) 発明者 林 喜宏

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
式会社内

(74) 代理人 100096105

弁理士 天野 広

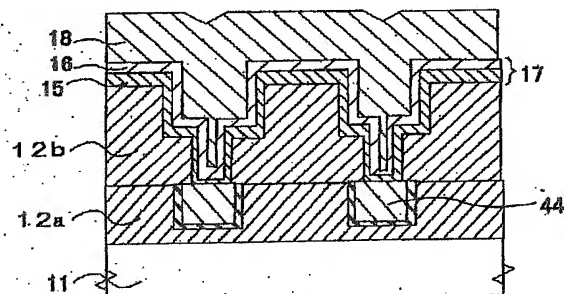
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多層配線の構造及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 銅の拡散を防止するためのバリア膜は、バリア性と共に銅との密着性も要求されるが、これまでの金属及び金属窒化膜バリア膜ではバリア性と密着性を両立したものを得ることは難しかった。

【解決手段】 バリア性に優れた非晶質金属窒化膜15と密着性に優れた結晶性金属膜16とを積層構造とすることにより、密着性とバリア性を両立した積層バリア膜17が得られる。例えば、半導体基板11上の絶縁膜12bに形成された配線溝または孔に埋め込み積層バリア膜17を成膜し、拡散バリア膜17上に銅膜18を形成することにより、良好な密着性と拡散がない銅配線を得ることが可能となる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板上に形成された銅配線からの銅拡散を防止する拡散バリア膜において、前記拡散バリア膜は、結晶質の窒素含有金属膜と非晶質の金属窒化膜とからなる積層構造を有し、前記拡散バリア膜を構成する金属原子種は同一であることを特徴とする拡散バリア膜。

【請求項2】 前記非晶質金属窒化膜の膜厚は80乃至150オングストロームであることを特徴とする請求項1に記載の拡散バリア膜。

【請求項3】 前記結晶質窒素含有金属膜の膜厚は60乃至300オングストロームであることを特徴とする請求項1又は2に記載の拡散バリア膜。

【請求項4】 半導体基板上に形成された銅配線からの銅拡散を防止する拡散バリア膜を有する多層配線の構造において、前記拡散バリア膜は、結晶質の窒素含有金属膜と非晶質の金属窒化膜とからなる積層構造を有し、前記拡散バリア膜を構成する金属原子種は同一であることを特徴とする多層配線の構造。

【請求項5】 前記拡散バリア膜は、下地配線層上の絶縁膜に形成された配線溝及び孔の表面を覆うように形成されていることを特徴とする請求項4に記載の多層配線の構造。

【請求項6】 前記窒素含有金属膜上に銅膜が形成されていることを特徴とする請求項4又は5に記載の多層配線の構造。

【請求項7】 前記非晶質金属窒化膜の膜厚は80乃至150オングストロームであることを特徴とする請求項4乃至6の何れか一項に記載の拡散バリア膜。

【請求項8】 前記結晶質窒素含有金属膜の膜厚は60乃至300オングストロームであることを特徴とする請求項4乃至7の何れか一項に記載の拡散バリア膜。

【請求項9】 スパッタ法による拡散バリア膜の製造方法において、窒素含有ガスを用い、プラズマを発生させる電源のパワーのみを変化させ、スパッタターゲットの金属原子種を成分とする結晶質の窒素含有金属膜と非晶質の金属窒化膜とからなる積層構造の拡散バリア膜を連続的に形成することを特徴とする拡散バリア膜の製造方法。

【請求項10】 回転磁場とRFパワーとを利用するRFマグネトロンスパッタ方式による拡散バリア膜の製造方法であって、窒素含有ガスを用い、前記RFパワーを変化させ、スパッタターゲットの金属原子種を成分とする結晶質の窒素含有金属膜と非晶質の金属窒化膜とからなる積層構造の拡散バリア膜を連続的に形成することを特徴とする拡散バリア膜の製造方法。

【請求項11】 前記窒素含有ガスの圧力は5Pa以上であることを特徴とする請求項9又は10に記載の拡散

バリア膜の製造方法。

【請求項12】 前記窒素含有ガスの窒素ガス濃度が10%以下であることを特徴とする請求項9乃至11の何れか一項に記載の拡散バリア膜の製造方法。

【請求項13】 前記スパッタターゲットの金属原子種がタンタル、タングステン、チタン、モリブデン、ニオブあるいはこれらの混合物であることを特徴とする請求項9乃至12の何れか一項に記載の拡散バリア膜の製造方法。

10 【請求項14】 RFマグネトロンスパッタ方式による拡散バリア膜の製造方法であって、プラズマガス中の窒素濃度を一定値に維持した状態において、プラズマ発生電源を第一の値のパワーに設定し、第一の膜を成膜する過程と、所望の膜厚が得られた瞬間に前記プラズマ発生電源を前記第一の値よりも大きい第二の値のパワーに設定し、前記第一の膜上に第二の膜を成膜する過程と、を備えることを特徴とする拡散バリア膜の製造方法。

20 【請求項15】 前記第一の膜は非晶質の金属窒化膜であり、前記第二の膜は結晶質の窒素含有金属膜であることを特徴とする請求項14に記載の拡散バリア膜の製造方法。

【請求項16】 前記プラズマガス中の窒素ガスの圧力は5Pa以上であることを特徴とする請求項14に記載の拡散バリア膜の製造方法。

【請求項17】 前記窒素ガスの濃度が10%以下であることを特徴とする請求項14乃至16の何れか一項に記載の拡散バリア膜の製造方法。

30 【請求項18】 スパッタターゲットの金属原子種がタンタル、タングステン、チタン、モリブデン、ニオブあるいはこれらの混合物であることを特徴とする請求項14乃至17の何れか一項に記載の拡散バリア膜の製造方法。

【請求項19】 前記非晶質金属窒化膜の膜厚は80乃至150オングストロームであることを特徴とする請求項9乃至18の何れか一項に記載の拡散バリア膜の製造方法。

40 【請求項20】 前記結晶質窒素含有金属膜の膜厚は60乃至300オングストロームであることを特徴とする請求項9乃至19の何れか一項に記載の拡散バリア膜の製造方法。

【請求項21】 半導体基板上の絶縁膜に形成された配線溝あるいは孔に対して水素含有アルゴンのプラズマを照射処理する工程と、大気に曝すことなく、前記配線溝あるいは孔の表面層を覆うように、結晶質の窒素含有金属膜と非晶質の金属窒化膜とからなる積層構造の拡散バリア膜を形成する工程と、大気に曝すことなく、前記拡散バリア膜上に銅薄膜を成長する工程と、

を備える銅配線膜の製造方法。

【請求項22】 前記拡散バリア膜はスパッタ法により形成されるものであることを特徴とする請求項21に記載の銅配線膜の製造方法。

【請求項23】 前記銅薄膜は真空成膜法により形成されるものであることを特徴とする請求項21に記載の銅配線膜の製造方法。

【請求項24】 前記真空成膜法は有機金属錯体の熱不均化反応を用いる熱化学気相堆積法（熱CVD法）であることを特徴とする請求項23に記載の銅配線膜の製造方法。

【請求項25】 前記真空成膜法は銅ターゲットを用いたスパッタ法であることを特徴とする請求項23に記載の銅配線膜の製造方法。

【請求項26】 前記非晶質金属窒化膜の膜厚は80乃至150オングストロームであることを特徴とする請求項21乃至25の何れか一項に記載の銅配線膜の製造方法。

【請求項27】 前記結晶質窒素含有金属膜の膜厚は60乃至300オングストロームであることを特徴とする請求項21乃至26の何れか一項に記載の銅配線膜の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、配線材料として銅（Cu）を用いた半導体集積回路の構造及びその製造方法に関するものであり、特に、銅配線膜からの銅の拡散を防止する拡散バリア膜に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体装置の微細化の進展に伴い、配線遅延がシリコンULSIデバイスの性能に及ぼす影響が増大し、従来のアルミニウム配線材を銅に置き換えることが必要となってきている。銅の比抵抗はアルミニウムの比抵抗の70%程度であるが、銅は、アルミニウムと異なり、その表面層に酸化膜不動態を形成しないため、腐食しやすい。

【0003】また、銅は珪素（シリコン：Si）及び二酸化珪素（二酸化シリコン：SiO₂）中を非常に大きい速度で拡散するため、シリコン基板に形成されるMOSFET中に浸入すると、キャリアライフタイムの劣化を引き起こす。

【0004】このため、銅配線を用いた半導体装置においては、銅の配線層間絶縁膜への銅拡散を防止するための拡散防止膜（拡散バリア膜）を設けることが必要となる。さらに、拡散バリア膜は、配線信頼性を保持するために、層間絶縁膜及び銅との密着性が高くないと好ましくない。

【0005】このため、これまでに、半導体集積回路における銅配線膜からの銅の拡散を防止するためのバリア

がなされている。

【0006】例えば、「Semiconductor World」（1998年2月発行、筆者栗屋信義）の91-94頁（以下、「従来例1」と呼ぶ）、「Advanced Metallization and Interconnect Systems for ULSI Applications in 1997」（1998年発行、筆者 キーウォン・クウォン（Kee-Won Kwon））の712頁17行-713頁10行及び図3-5（以下、「従来例2」と呼ぶ）、「Journal Electrochemical Society」（1998年7月発行、筆者 エム・ティー・ワン（M. T. Wang））の2538-2545頁（以下、「従来例3」と呼ぶ）、「1998 Symposium on VLSI Technology Digest of Technical Papers」（1998年発行、筆者 ディー・デニング（D. Denning）他）の22-23頁（以下、「従来例4」と呼ぶ）にバリアメタル層についての考察がなされている。

【0007】また、特開平8-139092号公報、特開平8-274098号公報、特開平9-64044号公報、特開平10-256256号公報及び特願平10-330938号には、銅拡散を防止するためのバリアメタル層の構造及びその製造方法が提案されている。

【0008】一般に、銅はドライエッチングを行うことが困難であることから、化学機械研摩法（CMP：Chemical Mechanical Polishing）を利用して銅配線を形成する。

【0009】具体的には、下地銅配線上に絶縁膜を形成し、この絶縁膜に配線溝と、下地配線層に至る孔とを形成する。次に、配線溝と孔の表面層に薄い拡散バリア膜を形成する。この際、配線溝と孔の表面層が完全に拡散バリア膜で覆われているようにする。未覆領域からの銅の拡散を防止するためである。その後、電解メッキ法、CVD法あるいはスパッタ法によって、拡散バリア膜で覆われた配線溝と孔とを埋め込みながら銅膜を成長し、CMP法によって、絶縁膜表面に形成された銅膜と拡散バリア膜とを選択的に除去する。

【0010】このように、拡散バリア膜には、先に述べた銅の拡散防止性と銅に対する密着性に加えて、高い被覆性が要求される。

【0011】このような銅配線に対する拡散バリア膜の材質としては、従来例1に記載されているように、高融点金属（タングステン（W）、タンタル（Ta）など）やその窒化物（窒化タングステン（WN）、チタン（Ti）、窒化チタン（TiN）、窒化タンタル（Ta₃N₅）など）が検討されている。

【0012】例えば、従来例2に記載されているように、Taバリア膜はその上にスパッタ法により形成され

る銅膜との密着性が良く、銅膜の結晶性を改善することができる。しかしながら、銅はTa膜中へも拡散するため、銅膜の下に形成されるTaバリア膜は50nm以上の膜厚を有することが必要となる。

【0013】しかしながら、従来例4には、Ta膜上にCVD法により銅膜を成膜した場合、銅とTa₂Nとの界面にフッ素(F)が偏析し、密着性が劣化することが報告されている。

【0014】また、従来例3に記載されているように、(200)及び(111)方向に配向した結晶質Ta₂Nバリア膜は、結晶質Taバリア膜と比較して、銅拡散阻止の機能に富むことが報告されている。

【0015】また、銅の拡散防止機能と銅に対する密着性を改善する方策として、金属膜と金属窒化膜とを積層する試みもなされている。

【0016】例えば、上記の特願平10-330938号には、チタンを金属膜として用いた、スパッタ法による積層バリア膜の製造方法が記載されている。図32に示すように、この製造方法においては、まず、Arガスのみをスパッタチャンバー内に導入し、チタン膜1を成膜する。その後、窒素ガスを導入することにより、チタンと窒素の反応を補助的に利用しながら、チタン膜1上に窒化チタン薄膜2を形成する。このようにして、チタン膜1と窒化チタン薄膜2とからなる積層バリア構造3が形成される。この製造方法においては、スパッタ前処理として下地配線膜表面の金属酸化膜を除去するために、アルゴンプラズマ処理が行われる。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】以上のような従来の銅の拡散バリア膜は、以下に述べるような技術的課題を有するものであった。

【0018】第1の技術的課題は、銅に対する拡散防止性能と銅との密着性を兼ね備えた拡散バリア膜を作ることが難しいことである。

【0019】図33に示すように、半導体基板4上に結晶化した柱状構造の金属膜5を成膜した場合を想定する。この金属膜5においては、一個の結晶の集まりであるグレイン6と、グレイン6の界面となる粒界7とが金属膜5の表面から底部に至るまで存在するため、この粒界7が銅の拡散する経路8となる。このため、金属膜5の銅拡散のバリア性は低いものとなる。

【0020】また、図34に示すように、タングステン(W)、チタン(Ti)、タンタル(Ta)などの比抵抗が小さい金属を用いて、半導体基板4上に金属膜5aを形成すると、金属膜5aは多結晶構造となる。このため、この金属膜5aは、図33に示した金属膜5と同様の柱状構造となってしまう、銅拡散に対するバリア性が低いものとなる。

【0021】ただし、通常のTa膜のスパッタにおいて得られるようなβ-Ta(002)膜などの結晶化した

金属膜上にスパッタ法により銅を成膜した場合には、銅の拡散防止性は劣るものの密着性に優れ、結晶配向性に富んだ銅膜を形成することができることから、銅配線の信頼性は向上する。

【0022】一方、図34に示すような半導体基板4上に成膜された非晶質(アモルファス)のTa₂Nのような微粒子9からなる金属膜5aにおいては、比抵抗も約200-250μΩ-cmと低く、図33に示したような結晶化した金属膜5と異なり、銅の拡散経路8も存在しないため、銅拡散に対するバリア性は非常に高いものとなる。

【0023】しかしながら、金属膜5aの表面はアモルファス状態で結晶格子が均等に配列されていないため、この非晶質(アモルファス)状膜上にCVD法又はスパッタ法により銅を成膜すると、銅の結晶性と銅に対する密着性が劣化する。

【0024】このように、結晶質の金属膜あるいは非晶質の金属窒化膜のみからなる単層構造膜においては、銅の拡散防止性と密着性に富んだ拡散バリア膜を得ることは困難である。第2の技術的課題は、単層構造の拡散バリア膜の欠点を回避することを目的として、拡散バリア膜を多層構造膜とする際に発生するものである。

【0025】例えば、銅との密着性が高い結晶質の金属膜とTa₂Nのような拡散バリア性の高い非晶質の金属窒化膜との積層構造として拡散バリア膜を形成すると、銅の拡散防止性と密着性に富んだ拡散バリア膜を得ることができる。

【0026】しかしながら、従来は、結晶質の金属膜と非晶質の金属窒化膜とを連続的にスパッタ成膜することが不可能であったため、結晶質の金属膜と非晶質の金属窒化膜とをそれぞれ別個に、すなわち、2回に分けて成膜を行うか、あるいは、異なる2つ以上のスパッタ成膜チャンバーを用いる必要があった。

【0027】例えば、上記の特願平10-330938号においては、スパッタ成膜チャンバーにArガスを導入してチタン膜を成膜した後、窒素ガスを導入して窒化チタンを成膜している。しかしながら、この方法によれば、チタン膜を成膜してから窒化チタンの成膜を行うまでの間においては、導入ガスの混合比を変化させることによりチャンバー内のArと窒素の分圧が安定するまで、窒化チタンの成膜を行うことはできないため、生産性が時間的に非効率なものとならざるを得ない。

【0028】第3の技術的課題は、スパッタ膜の被覆性に関するものである。

【0029】一般に、金属膜及びその金属窒化膜をスパッタ成膜する場合、回転磁場と直流バイアス印加によって発生するArプラズマで金属ターゲットを叩き、対極に設置されている基板に金属膜あるいはその窒化膜を成長させる。

【0030】この場合、スパッタ圧力は1Pa以下の低

圧力である。A r プラズマで叩かれた金属粒子は基板表面に対してランダムに照射されるため、例えば、基板表面に深い配線溝や孔が存在した場合、これらの開口部を完全に覆うように金属膜を成長することは困難であった。また、スパッタ圧力が低いため、A r プラズマ密度が低く、基板表面に被着した金属膜をA r プラズマ粒子で叩くという再スパッタ効果を期待することはできない。

【0031】被覆性を向上させるためにスパッタターゲットと基板との間に多数の孔を形成した金属板を設置して、この孔を通過させることにより、スパッタ金属粒子の方向性を揃えるコリメートスパッタ法が提案されている。このコリメートスパッタ法によれば、基板表面に形成された開口部の底面に金属膜を成長することは可能であるが、開口部の側面に金属膜を付着させることは困難であった。

【0032】第4の技術的課題は、銅膜との間で良好な密着性を有する結晶性の金属膜は大気中と容易に反応して表面反応層を形成する点である。このような表面反応層は銅膜との密着性を著しく劣化させてしまう。

【0033】第5の技術的課題は、銅酸化膜の再付着の問題である。拡散バリア膜のスパッタ成長前に下地配線金属膜表面の酸化膜を除去するため、A r プラズマ処理が行われる。下地配線が銅の場合、銅酸化膜がA r スパッタにより飛散し、絶縁膜に形成された孔の表面に銅酸化膜が再付着してしまうという問題があった。

【0034】第6の技術的課題は、CVD法により、Ta膜及び非晶質のTa₂N膜上に銅膜を成膜した場合、銅と拡散バリア層との間の密着性が悪くなる点である。

【0035】本発明は、以上のような従来技術における問題点を鑑みてなされたものであり、銅配線を用いた半導体装置において、銅の半導体装置中への拡散を防止する拡散バリア性能と、銅及び配線層間膜の間の密着性能とを兼ね備えた拡散バリア膜、そのような拡散バリア膜を有する多層配線構造、及び、そのような拡散バリア膜の製造方法を提供することを目的とする。

【0036】さらには、本発明は、上記のような拡散バリア膜上に銅を埋め込んだ銅多層配線の製造方法を提供することを目的とする。

【0037】

【課題を解決するための手段】この目的を達成するため、本発明の請求項1は、半導体基板上に形成された銅配線からの銅拡散を防止する拡散バリア膜において、拡散バリア膜は、結晶質の窒素含有金属膜と非晶質の金属窒化膜とからなる積層構造を有し、拡散バリア膜を構成する金属原子種は同一であることを特徴とする拡散バリア膜を提供する。

【0038】また、請求項4は、半導体基板上に形成された銅配線からの銅拡散を防止する拡散バリア膜を有する多層配線の構造において、拡散バリア膜は、結晶質の

窒素含有金属膜と非晶質の金属窒化膜とからなる積層構造を有し、拡散バリア膜を構成する金属原子種は同一であることを特徴とする多層配線の構造を提供する。

【0039】この多層配線の構造においては、請求項5に記載されているように、拡散バリア膜は、下地配線層上の絶縁膜に形成された配線溝及び孔の表面を覆うように形成されていることが好ましい。

【0040】また、請求項6に記載されているように、窒素含有金属膜上には銅膜を形成することができる。

【0041】請求項9は、スパッタ法による拡散バリア膜の製造方法において、窒素含有ガスを用い、プラズマを発生させる電源のパワーのみを変化させ、スパッタターゲットの金属原子種を成分とする結晶質の窒素含有金属膜と非晶質の金属窒化膜とからなる積層構造の拡散バリア膜を連続的に形成することを特徴とする拡散バリア膜の製造方法を提供する。

【0042】また、請求項10は、回転磁場とRFパワーとを利用するRFマグネトロンスパッタ方式による拡散バリア膜の製造方法であって、窒素含有ガスを用い、RFパワーを変化させ、スパッタターゲットの金属原子種を成分とする結晶質の窒素含有金属膜と非晶質の金属窒化膜とからなる積層構造の拡散バリア膜を連続的に形成することを特徴とする拡散バリア膜の製造方法を提供する。

【0043】請求項11に記載されているように、窒素含有ガスの圧力は5Pa以上であることが好ましい。

【0044】また、請求項12に記載されているように、窒素含有ガスの窒素ガス濃度は10%以下であることが好ましい。

【0045】請求項13に記載されているように、スパッタターゲットの金属原子種としては、タンタル、タングステン、チタン、モリブデン、ニオブあるいはこれらの混合物から選択することができる。

【0046】請求項14は、RFマグネトロンスパッタ方式による拡散バリア膜の製造方法であって、プラズマガス中の窒素濃度を一定値に維持した状態において、プラズマ発生電源を第一の値のパワーに設定し、第一の膜を成膜する過程と、所望の膜厚が得られた瞬間にプラズマ発生電源を第一の値よりも大きい第二の値のパワーに設定し、第一の膜上に第二の膜を成膜する過程と、を備えることを特徴とする拡散バリア膜の製造方法を提供する。

【0047】この拡散バリア膜の製造方法においては、請求項15に記載されているように、第一の膜としては、例えば、非晶質の金属窒化膜を、第二の膜としては、例えば、結晶質の窒素含有金属膜を選択することができる。

【0048】請求項21は、半導体基板上の絶縁膜に形成された配線溝あるいは孔に対して水素含有アルゴンのプラズマを照射処理する工程と、大気に曝すことなく、

配線溝あるいは孔の表面層を覆うように、結晶質の窒素含有金属膜と非晶質の金属窒化膜からなる積層構造の拡散バリア膜を形成する工程と、大気に曝すことなく、拡散バリア膜上に銅薄膜を成長する工程と、を備える銅配線膜の製造方法を提供する。

【0049】拡散バリア膜は、請求項22に記載されているように、例えば、スパッタ法により形成することができる。

【0050】また、銅薄膜は、請求項23に記載されているように、例えば、真空成膜法により形成することができる。

【0051】真空成膜法としては、請求項24に記載されているように、例えば、有機金属錯体の熱不均化反応を用いる熱化学気相堆積法（熱CVD法）を用いることができる。あるいは、請求項25に記載されているように、銅ターゲットを用いたスパッタ法を用いることができる。

【0052】請求項2、7、19、26に記載されているように、非晶質金属窒化膜の膜厚は80乃至150オングストロームであることが好ましい。

【0053】請求項3、8、20、27に記載されているように、結晶質窒素含有金属膜の膜厚は60乃至300オングストロームであることが好ましい。

【0054】

【作用】本発明に係る拡散バリア膜によれば、銅膜と直接的に接する膜は結晶質の窒素含有金属膜であるため、密着性と銅膜の高い結晶性を確保することができる。

【0055】また、金属結晶中に窒素を含有させたことにより、純粋な金属結晶膜と比較して、銅の拡散を抑制させることができる。

【0056】さらには、本発明に係る拡散バリア膜によれば、結晶質の窒素含有金属膜の下に非晶質の金属窒化膜が存在するため、銅の拡散を防止することができるとともに、下地絶縁膜（ここでは、シリコン酸化膜）との密着性をも確保することができる。すなわち、本発明に係る拡散バリア膜上に銅配線膜を形成することにより、銅配線膜の高結晶性と密着性を確保することができると同時に、銅拡散を防止することができるという効果を発揮する。

【0057】また、本発明に係る拡散バリア膜の製造方法によれば、窒素含有ガスを用いるスパッタ法におけるプラズマ発生電源パワーのみを変化させることによって、スパッタターゲットの金属原子種を成分とする結晶質の窒素含有金属膜と非晶質の金属窒化膜とからなる積層構造を連続的に形成することが可能になる。

【0058】具体的には、プラズマガス中の窒素濃度を一定に保った状態で、まず、プラズマ発生電源を低パワーとして成膜を行うと、ターゲット金属と窒素との十分な反応により、非晶質の金属窒化膜が成長する。その後、プラズマ発生電源を高パワーに変化させ、窒素と

ターゲット金属との間の十分な反応時間を与えることなく膜成長させることにより、結晶質の窒素含有金属膜が得られる。その結果、同一チャンバー内において、結晶質の窒素含有金属膜と非晶質の金属窒化膜とからなる積層構造の拡散バリア膜を連続的に効率良く成膜することができるという効果を発揮する。

【0059】また、本発明に係る拡散バリア膜の製造方法によれば、回転磁場とRFパワーとを導入したRFマグネトロンスパッタ方式を採用し、窒素含有ガスの圧力が5Pa以上であるようなスパッタを実現することを可能にしているため、スパッタガスの主成分であるArプラズマ密度を向上させて基板開口部の全面に渡る被覆性を確保できるという効果を得ることができる。

【0060】また、本発明による拡散バリア膜の製造方法は、半導体基板上の絶縁膜に形成された配線溝あるいは孔に対して水素含有アルゴンのプラズマを照射処理する工程を含む。この工程により、下地銅配線層の表面に形成されていた銅酸化膜を還元して金属銅に戻すことができ、ひいては、絶縁膜に形成された孔の表面への銅酸化膜の再スパッタ被着を大幅に減らすことができる。

【0061】さらに、その後、大気に曝すことなく、配線溝あるいは孔の表面層を覆うように結晶質の窒素含有金属膜と非晶質の金属窒化膜とからなる積層構造の拡散バリア膜を形成する工程と真空成膜法により銅薄膜を成長する工程とにより、金属酸化膜層を界面に介在させずに、拡散バリア膜／銅配線膜からなる構造を得ることができるという効果を発揮する。

【0062】

【発明の実施の形態】次に、図1乃至図4を参照して、本発明の第一の実施の形態に係る拡散バリア膜の製造方法を説明する。

【0063】図1に示すように、半導体基板11上には、第一の絶縁膜12aが形成され、この第1の絶縁膜12aには銅配線44が形成されている。第一の絶縁膜12a上には、第二の絶縁膜12bが形成されており、この第二の絶縁膜12bの表面には配線溝13が形成され、配線溝13の底面には、第一の絶縁膜12aに達する孔14が配線溝13と連続して形成されている。

【0064】まず、第1のチャンバーにおいて、半導体基板11を水素含有アルゴンプラズマに曝し、下地銅配線44の表面に形成された銅酸化膜を還元除去する。次いで、かかる半導体基板11を真空搬送し、第2のチャンバーにおいて、窒素含有ガスを用いて、高融点金属ターゲットからのスパッタ成膜を行う。

【0065】この際、プラズマガス中の窒素濃度を一定に保った状態で、まず、プラズマ発生電源を低パワーにして成膜を行うと、ターゲット金属と窒素との十分な反応により、図2に示すように、非晶質の金属窒化膜15が成長する。その後、プラズマ発生電源を瞬時に高パワーに変化させ、窒素とターゲット金属との十分な反応時

間を与えることなく、膜成長を行うことにより、非晶質の金属窒化膜15上に結晶質の窒素含有金属膜16を得る。

【0066】その結果、図2に示すように、積層構造を有する拡散バリア膜17を配線溝13及び孔14の側壁部及び底部において同一チャンバー内で連続的に効率良く成膜することができる。この拡散バリア膜17のスパッタ成長の際、スパッタ圧力を十分に高くすることにより、拡散バリア膜17の被覆性を向上させることができる。

【0067】その後、半導体基板11を真空搬送し、第3のチャンバーにおいて、図3に示すように、拡散バリア膜17上に銅膜18を真空成膜し、配線溝13及び孔14を銅膜18で埋め込む。この際、拡散バリア膜17の表面は結晶質の窒素含有金属膜16であり、かつ、半導体基板11の真空搬送により、窒素含有金属膜16の表面には酸化膜が形成されていない。

【0068】最後に、図4に示すように、CMP法で第二の絶縁膜12bの表面に形成されている拡散バリア膜17と銅膜18とを選択的に除去することにより、信頼性の高い銅配線を得ることができる。

【0069】銅の拡散バリア性の向上の原因は金属膜16に窒素を含有させたことである。また、この窒素含有金属膜16は銅との密着性を確保することに大きな効果を有する。非晶質金属窒化膜15も銅拡散防止に効力を発揮する他、下地層間絶縁膜12bとの密着性の向上に大きく寄与する。その結果、銅膜18と拡散バリア膜17との間の密着性を確保することができ、また、銅膜18から第二の絶縁膜12bへの銅の拡散も防止することができる。

【0070】

【実施例】以下、上記の第一の実施形態の各実施例について説明する。

【0071】

【第一の実施例】第一の実施例においては、結晶性の窒素含有金属と非晶質の金属窒化膜とからなる積層構造を形成するスパッタ法について説明する。

【0072】第一の実施例におけるスパッタ法は、図5に示すRFマグネトロンスパッタ装置において実行される。

【0073】図5に示すRFマグネトロンスパッタ装置においては、ドライポンプ、クライオポンプ及びターボポンプなどの排気ポンプ33により、チャンバー21は、その内部圧力が約 1×10^{-7} Pa乃至約 1×10^{-6} Paの真空状態になるように、排気されている。チャンバー21には基板加熱ヒーター34が設置されており、チャンバー21内に導入された半導体基板22を約20乃至300℃に加熱することができるようになっている。また、金属ターゲット28と半導体基板22との間の距離は102mm乃至134mmの範囲内において

変化させることが可能である。

【0074】また、アルゴン(Ar)ガスと窒素(N₂)ガスとがそれぞれマスフローコントローラ31を介して流量が調整された状態でチャンバー21内に導入されるようになっている。これらのガスをチャンバー21に導入したときのチャンバー21内の圧力は2Pa乃至17Paである。

【0075】金属ターゲット28の直径は、例えば、300乃至320mm程度であり、金属ターゲット28は金属製のターゲットホルダ27とカソード23と絶縁体29とを介してスパッタチャンバー21に取り付けられている。カソード23の内部には永久磁石24が回転可能に配置されており、永久磁石24を回転させることにより、チャンバー21内部の磁場30を均一にして、金属ターゲット28の表面の削れ(エロージョン)が一定になるようにしている。これにより、半導体基板22上に成膜される膜の均一性を高めることができる。

【0076】また、チャンバー21内にRFを導入するためのRF電源25は、インピーダンスマッチングを行うための整合器(マッチングボックス)32を介して、カソード23に接続されており、300mmφの金属ターゲット28に対して13.56MHzの高周波を0乃至10kWのパワーで印加することが可能である。

【0077】RF電源25をONにしてRFをチャンバー21内に導入すると、窒素を含むArプラズマ26が発生する。このArプラズマ26で発生するArイオンにより、ターゲット金属28がスパッタされ、半導体基板22に到達し、結晶質の窒素含有金属16あるいは非晶質の金属窒化膜15が堆積される。

【0078】上述のようなRFマグネトロンスパッタ方式を用いて、半導体基板22上の絶縁膜12b(図1参照)内に形成された孔14(図1参照)に対してTa成膜を行った。その埋め込み特性の結果を図6に示す。

【0079】孔14の直径は0.3μm乃至1.5μmであり、孔14が開口されている箇所における絶縁膜12bの厚さは約1.5μmであった。図6から明らかであるように、スパッタ圧力を増加させていくにつれて(2→4→8→13→17Pa)、ボトムカバレッジ

(孔14の底における堆積膜厚/絶縁膜12bの表面での堆積膜厚の比)が向上していくことが分かる。具体的には、スパッタ圧力が5Paを超えると、アスペクト比の大きな孔に対しても十分な被覆性を示していることがわかる。

【0080】なお、孔14の側面におけるTa堆積膜厚は孔14の底部における堆積膜厚の半分程度であり、スパッタ圧力の増加に伴い、孔14の内壁面全体を被覆するTa膜が形成された。

【0081】この現象の原因としては次のような2つの点が考えられる。まず、第1の原因として考えられることは、図7に示すように、プラズマガス中のTaイオン

数の増加である。

【0082】スパッタ圧力が増加することにより、Ta原子と励起Ar原子との衝突が増加し、Ta原子のイオン化が促進される。その結果として生じたTaイオンが、半導体基板22に発生する負のセルフバイアスに引っ張られる結果、半導体基板面に対するTaイオン流束35の入射角の垂直性が向上する。このため、通常のスパッタで起こるような開口部付近におけるオーバーハングが抑制され、孔14や配線溝13の底部までTaが到達しやすくなる。その結果、孔14の内壁面全体を被覆するTa膜36が形成される。

【0083】第2の原因としては、図8に示すようなArイオン39による堆積Ta膜36の再スパッタが考えられる。

【0084】スパッタプラズマガスの主成分であるArイオン39はターゲットに対してのみでなく、負のセルフバイアス状態にある半導体基板22に対しても、電界により加速された状態で到達する。すなわち、半導体基板22上に堆積したTa膜も再びスパッタされることになる。このArイオン39により、孔14や配線溝13の開口部付近に堆積してオーバーハングを起こす原因となるTa膜が矢印37で示されるように再スパッタされるため、孔14や配線溝13の底部に向かうTa原子38が開口部付近で妨げられにくくなる。このため、孔14の底部や側面におけるTaの堆積が行われやすくなる。

【0085】さらに、孔14や配線溝13の底部におけるTa膜36もArイオン39により再スパッタされるため、再スパッタされた底部のTa原子が孔14や配線溝13の側面40に再堆積し、孔14の側面40におけるカバレッジが向上するものと考えられる。

【0086】現時点においては、上記のどちらの効果も主因となって埋め込み被覆性が向上するのかわ定はできない。ただし、5Paを超える高圧力の下におけるプラズマイオンの平均自由行程は数mmであることから、Taイオン流束35の入射角の垂直性の向上による効果はそれほど大きくはないものと考えられる。高圧力により十分な密度のArイオンが発生し、このArイオンによるTa堆積膜の再スパッタが主因となって、被覆性が向上するものと推定される。

【0087】なお、タンタル窒化膜のスパッタ成膜についても、同様に、5Paを超える高圧力スパッタにおいて良好な被覆性が認められた。

【0088】以上述べたように、RFマグネトロンスパッタ方式においては、スパッタ圧力を5Pa以上の高圧力とすることが望ましい。

【0089】

【第二の実施例】図9に、第一の実施例で挙げた高圧RFマグネトロンスパッタ方式を用いて、チャンパー21内に導入するアルゴンガス(Ar)の量に対する窒素ガ

ス(N₂)の量の比(N₂ / (Ar + N₂))を変化させた場合のRFパワーとスパッタ成長膜の比抵抗の変化との間の関係を示す。

【0090】この時のチャンパー21内の圧力は13Pa、半導体基板22の加熱温度は200℃、マグネット24の回転速度は10rpm、金属ターゲット28と半導体基板22との間の距離は134mmである。

【0091】RFパワーに関わらず、N₂ / (Ar + N₂)におけるN₂割合の増加に伴って、一旦、比抵抗が減少し、その後、再び増加して行く傾向が見られる。ただし、その増加率はRFパワーに依存し、RFパワーが大きいほど比抵抗の増加率は低減する。

【0092】図10から図13に、300mmφのTaターゲットに対してRFパワー=6kW(8.5W/cm²)を投入した時のN₂比の変化によるX線回折パターン(XRD)の変化を示す。

【0093】具体的には、図10はN₂比=0%、図11はN₂比=1%、図12はN₂比=5%、図13にN₂比=7%の場合のXRDパターンを示す。以下、図10乃至図13と比抵抗を示す図9とを対応させながら説明する。

【0094】N₂比=0%の場合には、図10に示すように、β-Ta(002)配向した結晶質のTa金属膜が得られ、その比抵抗は160乃至200μΩ-cmである。

【0095】N₂比=1%の場合には、図11に示すように、β-TaとTaNo.₁とが混在した結晶性の窒素含有金属膜(ここでは、Ta膜)が得られ、その比抵抗の値は約100μΩ-cm程度に減少する。

【0096】N₂比=5%の場合には、図12に示すように、XRDパターン強度が低下しており、非晶質の金属窒化膜が形成されていることがわかる。その比抵抗は約200乃至250μΩ-cm程度であった。

【0097】更にN₂比を増加させていくと、図13に示すように、N₂比=7%の場合には、Ta₃N₅の結晶性の金属窒化膜が成長し、比抵抗は更に上昇する。

【0098】このように、Taターゲットを用いた場合、スパッタガス中のN₂濃度とRFパワー値とに依存して、成長する膜の結晶構造、組成及び比抵抗が変化する。このことは、逆に見れば、スパッタガス中のN₂濃度とRFパワー値を制御することによって、成長膜の特性を制御することができることを意味している。本発明はこのような見地に基づくものである。

【0099】しかしながら、スパッタ法の場合、スパッタガスの流量(ガス圧力)やN₂組成比を変化させることは容易ではない。従って、実用的には、スパッタガスの流量(ガス圧力)やN₂組成比を一定値に維持し、RFパワーのみを変化させることにより、スパッタ成長した膜の結晶構造、組成及び比抵抗を制御することが必要となる。

【0100】そこで、 N_2 比を2%に固定してRFパワーのみを変化させた場合の比抵抗の変化を図14に示す。図14から明らかであるように、RFパワーのみを変化させた場合においても、スパッタ膜質及び比抵抗を制御できることがわかる。図14に示す比抵抗の変化におけるガス圧力は10Pa、マグネット回転速度は10rpm、基板温度は200℃である。

【0101】また、各RFパワーに対するXRDの特性を図15乃至図18に示す。図15はRFパワー=2kW、図16はRFパワー=3kW、図17はRFパワー=6kW、図18はRFパワー=8kWの場合のXRDの特性である。

【0102】具体的には、RFパワー=2kWの場合には、図15に示すように、非晶質の Ta_2N が得られ、RFパワーを増加させるにつれて結晶質の $TaN_{0.1}$ が得られ、さらに、RFパワー=8kWの場合においては、図18に示すように、 $\beta-Ta$ 膜と $TaN_{0.1}$ とが混合した結晶質の窒素含有金属膜へと変化している。

【0103】図19と図20に、それぞれRFパワー=2kWとRFパワー=8kWの場合に得られた膜の断面走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscopy: SEM)写真を示す。

【0104】RFパワー=2kWの場合には、図15に示すXRDからも明らかであるように、成長膜は非晶質構造を持つため、結晶粒界は認められない。一方、RFパワー=8kWの場合には、図18に示すXRDからも分かるように、 $\beta-Ta$ 膜と $TaN_{0.1}$ とが混合したような結晶膜が得られており、膜も柱状構造を有していることが分かる。

【0105】すなわち、非晶質の金属窒化膜である Ta_2N を2kWのRFパワーで成膜し、所望の膜厚が得られた瞬間にスパッタパワーを8kWに変化させることにより、結晶性の窒素含有金属膜に膜質を変化させると、図21に示すように、半導体基板11上に、非晶質の金属窒化膜15(非晶質の Ta_2N)と、結晶質の窒素含有金属膜16(結晶質の $\beta-Ta$ と結晶質の $TaN_{0.1}$ とからなる混合膜)とからなる積層構造の拡散バリア膜17が成膜される。

【0106】実際に、 TaN 成膜中にスパッタパワーを2kWから8kWに変化させ、結晶質の窒素含有金属膜16と非晶質の金属窒化膜15とをそれぞれ約500Åずつ連続的に成長した膜の断面のSEM写真を図22に示す。非晶質の Ta_2N 膜15と柱状結晶質の窒素含有金属膜(Ta_2N 膜)16とが連続的に積層構造を構成して成膜されていることが確認できる。

【0107】この現象の原理は以下のように考えられる。スパッタパワーが2kWの場合には、Arイオンによるスパッタ率が低いために、 Ta ターゲットの表面が N_2 により十分に窒化される時間が存在する。このため、 Ta ターゲットの表面が窒化され、 Ta_2N に変化

する。このように窒化された Ta_2N がArイオンによりスパッタされるために Ta_2N が堆積される。しかしながら、スパッタパワーが8kWになると、 Ta ターゲットの表面が十分に窒化される時間が与えられる前にArイオンによりスパッタされるため、スパッタされる Ta 膜に窒素が微量のみ含まれるような窒素含有の金属膜が得られやすくなるものと推定される。

【0108】この現象を利用することにより、図23に示すように、半導体基板11上に成膜された絶縁膜12b内に形成された配線溝13またはビア孔14を覆うようにして、積層構造の拡散バリア膜17を成膜することが可能となる。下層に位置する非晶質の金属窒化膜(Ta_2N)15は、銅の拡散バリア性を確保することができ、かつ、下地絶縁膜12bとの密着性を保持できる程度の膜厚を有することが必要である。そのような膜厚としては、約80Å乃至150Åが好ましい。一方、結晶質の窒素含有金属膜(結晶質の $\beta-Ta$ と結晶質の $TaN_{0.1}$ とからなる混合膜)16は銅の拡散バリア性を保持でき、かつ、銅との密着性を確保することができれば良く、窒素含有金属膜16の膜厚としては、60Å乃至300Å程度が最適である。

【0109】

【第三の実施例】第一実施例において述べたRFマグネトロンスパッタ方式においては、チャンバー内に導入する圧力を通常のスパッタよりも高圧にすることにより、すなわち、5Pa以上とすることにより、配線溝又は孔への埋め込み性能を向上させることが可能になる。すなわち、この領域の圧力の下で成膜中にパワーを切り替えることにより、図1に示したように、半導体基板11上に成膜された絶縁膜12b中に形成された配線溝13と孔14とを同時に埋め込むようなデュアルダマシンプロセスを用いる際にも、良好な埋め込み特性の下で積層バリア膜17を得ることが可能になる。

【0110】

【第四の実施例】上述の第一及び第二の実施例においては、スパッタパワーを切り替えることにより連続的に積層バリア膜を作製するプロセスをRFマグネトロンスパッタ形式に適用した場合について述べた。このプロセスは、 N_2 比や成膜パワーは異なる条件になるが、図24に示すようなDCマグネトロンスパッタ方式にも適用することができる。

【0111】図24に示すDCマグネトロンスパッタ装置は、チャンバー21と、チャンバー21の底面に設置され、半導体基板22を加熱する基板加熱ヒーター34と、絶縁体29とカソード23とを介してチャンバー21の内部の上方に配置されたターゲット金属28と、チャンバー21の内部圧力が約 1×10^{-7} Pa乃至約 1×10^{-6} Paの真空状態になるように排気を行う排気ポンプ33と、ターゲット金属28の上方に配置されたマグネット42と、絶縁体29を介してチャンバー21

と、アルゴンガスと窒素ガスの流量を調整してチャンバー21内に送り込むマスフローコントローラ31と、カソード23と基板加熱ヒーター34に直流電圧を印加するDC電源41と、からなっている。

【0112】DC電源41をオンにすることにより、窒素を含むアルゴンプラズマ26がチャンバー21内に発生する。

【0113】

【第五の実施例】第一及び第二の実施例においては、一つのビア及び配線が形成されている例を挙げたが、本発明を適用することができる構造は、一つのビア及び配線が形成されている構造には限定されない。

【0114】図25に示すように、半導体基板11上に第一の絶縁膜12aが形成され、この第一の絶縁膜12aにはビア孔の内部に拡散バリア膜17を介して銅配線44が形成され、さらに、第一の絶縁膜12a上には第二の絶縁膜12b形成されている。第二の絶縁膜12b内に形成された配線溝及びビア孔の表面にも拡散バリア膜17が形成されており、配線溝及びビア孔は拡散バリア膜17を介して銅配線（図示せず）で埋め込まれる。

【0115】このように、積層された複数の絶縁膜のそれぞれに形成された配線溝及びビア孔の表面を拡散バリア膜17で覆い、次いで、銅配線層で配線溝及びビア孔を埋め込むことが可能である。

【0116】その一例を図26に示す。図26に示す積層構造は、3層の絶縁膜からなり、各絶縁膜には配線溝及びビア孔が形成され、それらの配線溝及びビア孔の表面は拡散バリア層17で覆われ、さらに、銅配線44が埋め込まれている。

【0117】以下、図26に示す積層構造の製造方法を説明する。半導体基板11には、素子分離層11aにより分離された半導体素子11bが形成されている。その半導体基板11上に成膜されたシリコン酸化膜等の第一の絶縁膜12aには、半導体素子11bとコンタクトを取るための配線溝及び孔が形成されており、これらの配線溝及び孔の表面には、第一の実施例において述べたような高圧RFマグネトロンスパッタ法により、良好な埋め込み性の下に結晶質の窒素含有金属膜と非晶質の金属窒化膜とからなる積層構造を有する拡散バリア膜17が形成されている。

【0118】その後、真空成膜法により銅膜を配線溝及び孔に埋め込んで形成し、化学的機械的研磨法（CMP法）により、第一の絶縁膜12a上の余剰の銅膜及び拡散バリア膜17を選択的に研磨し、銅配線44aを形成する。

【0119】銅は表面に不動体を作らないため、銅膜44a中への酸化が進行する恐れがある。このため、銅配線44aの酸化を防止するためのシリコン窒化膜12dを第一の絶縁膜12a上に形成する。

【0120】さらに、第一の絶縁膜12a上に第二の絶

縁膜12bを形成し、下層の銅配線44aと接触するような配線溝及び孔を第二の絶縁膜12b中に形成する。次いで、その配線溝及び孔に拡散バリア膜17を形成し、さらに、銅膜44bで配線溝及び孔を埋め込むような製造過程を所望の回数だけ繰り返すことにより、図26に示すような銅多層配線構造を有する半導体装置を製作することができる。

【0121】

【第六の実施例】第六の実施例においては、積層構造の拡散バリア膜と銅配線膜とを連続して形成するための装置及びその製造工程について述べる。

【0122】図27は、本実施例に係る銅配線膜形成装置を上方から見たときの平面図である。

【0123】銅配線膜形成装置は中心部にセパレーションチャンバー51を備えており、このセパレーションチャンバー51の内部には、搬送用ロボット52が保持されている。セパレーションチャンバー51の周囲には、さらに、2個のロードロックチャンバー45、基板加熱ガス出しチャンバー46、配線溝及び孔クリーニング用エッチングチャンバー47、積層構造の拡散バリア膜形成用のスパッタチャンバー48、銅配線成膜チャンバー49が付設されている。このような構成のクラスターチャンバー50を用いることにより、半導体基板を大気に曝すことなく、銅配線金属を成膜することが可能である。

【0124】銅配線金属膜の具体的な製造工程を以下に述べる。まず、半導体基板をロードロックチャンバー45に導入する。半導体基板上には絶縁膜が形成され、この絶縁膜には配線溝又は孔が形成されているものとする。次いで、ドライポンプ及びターボポンプを用いて、ロードロックチャンバー45を排気する。排気時間は約5分程度であり、排気後の真空度は 7×10^{-3} 乃至 8×10^{-3} Paである。

【0125】その後、ロードロックチャンバー45とセパレーションチャンバー51との間のゲートバルブを開ける。この時、セパレーションチャンバー51は、クライオポンプ及びドライポンプ及びターボポンプによって、 5×10^{-5} 乃至 1×10^{-5} Pa程度の真空度に保たれており、半導体基板は、真空を破ることなく、搬送用ロボット52によってセパレーションチャンバー51の内部に搬送される。

【0126】その後、先ず、半導体基板表面上の水分を飛ばし、アライニングを行うために、半導体基板を基板加熱ガス出しチャンバー46に搬送する。この時、基板加熱ガス出しチャンバー46は、ドライポンプ及びターボポンプによって、 6×10^{-5} Pa程度の真空度に保たれている。基板加熱ガス出しチャンバー46の内部において、半導体基板を 150°C 乃至 200°C 程度に加熱し、半導体基板表面の水分を飛ばし、半導体基板の表面を清浄化する。

【0127】次に、半導体基板を基板加熱ガス出しチャ

と、アルゴンガスと窒素ガスの流量を調整してチャンバー 21 内に送り込むマスフローコントローラ 31 と、カソード 23 と基板加熱ヒーター 34 に直流電圧を印加する DC 電源 41 と、からなっている。

【0112】DC 電源 41 をオンにすることにより、窒素を含むアルゴンプラズマ 26 がチャンバー 21 内に発生する。

【0113】

【第五の実施例】第一及び第二の実施例においては、一つのビア及び配線が形成されている例を挙げたが、本発明を適用することができる構造は、一つのビア及び配線が形成されている構造には限定されない。

【0114】図 25 に示すように、半導体基板 11 上に第一の絶縁膜 12a が形成され、この第一の絶縁膜 12a にはビア孔の内部に拡散バリア膜 17 を介して銅配線 44 が形成され、さらに、第一の絶縁膜 12a 上には第二の絶縁膜 12b 形成されている。第二の絶縁膜 12b 内に形成された配線溝及びビア孔の表面にも拡散バリア膜 17 が形成されており、配線溝及びビア孔は拡散バリア膜 17 を介して銅配線（図示せず）で埋め込まれる。

【0115】このように、積層された複数の絶縁膜のそれぞれに形成された配線溝及びビア孔の表面を拡散バリア膜 17 で覆い、次いで、銅配線層で配線溝及びビア孔を埋め込むことが可能である。

【0116】その一例を図 26 に示す。図 26 に示す積層構造は、3 層の絶縁膜からなり、各絶縁膜には配線溝及びビア孔が形成され、それらの配線溝及びビア孔の表面は拡散バリア層 17 で覆われ、さらに、銅配線 44 が埋め込まれている。

【0117】以下、図 26 に示す積層構造の製造方法を説明する。半導体基板 11 には、素子分離層 11a により分離された半導体素子 11b が形成されている。その半導体基板 11 上に成膜されたシリコン酸化膜等の第一の絶縁膜 12a には、半導体素子 11b とコンタクトを取るための配線溝及び孔が形成されており、これらの配線溝及び孔の表面には、第一の実施例において述べたような高圧 RF マグネトロンスパッタ法により、良好な埋め込み性の下に結晶質の窒素含有金属膜と非晶質の金属窒化膜とからなる積層構造を有する拡散バリア膜 17 が形成されている。

【0118】その後、真空成膜法により銅膜を配線溝及び孔に埋め込んで形成し、化学的機械的研磨法（CMP 法）により、第一の絶縁膜 12a 上の余剰の銅膜及び拡散バリア膜 17 を選択的に研磨し、銅配線 44a を形成する。

【0119】銅は表面に不動態を作らないため、銅膜 44a 中への酸化が進行する恐れがある。このため、銅配線 44a の酸化を防止するためのシリコン窒化膜 12d を第一の絶縁膜 12a 上に形成する。

【0120】さらに、第一の絶縁膜 12a 上に第二の絶

縁膜 12b を形成し、下層の銅配線 44a と接触するような配線溝及び孔を第二の絶縁膜 12b 中に形成する。次いで、その配線溝及び孔に拡散バリア膜 17 を形成し、さらに、銅膜 44b で配線溝及び孔を埋め込むような製造過程を所望の回数だけ繰り返すことにより、図 26 に示すような銅多層配線構造を有する半導体装置を製作することができる。

【0121】

【第六の実施例】第六の実施例においては、積層構造の拡散バリア膜と銅配線膜とを連続して形成するための装置及びその製造工程について述べる。

【0122】図 27 は、本実施例に係る銅配線膜形成装置を上方から見たときの平面図である。

【0123】銅配線膜形成装置は中心部にセパレーションチャンバー 51 を備えており、このセパレーションチャンバー 51 の内部には、搬送用ロボット 52 が保持されている。セパレーションチャンバー 51 の周囲には、さらに、2 個のロードロックチャンバー 45、基板加熱ガス出しチャンバー 46、配線溝及び孔クリーニング用エッチングチャンバー 47、積層構造の拡散バリア膜形成用のスパッタチャンバー 48、銅配線成膜チャンバー 49 が付設されている。このような構成のクラスチャンバー 50 を用いることにより、半導体基板を大気に曝すことなく、銅配線金属を成膜することが可能である。

【0124】銅配線金属膜の具体的な製造工程を以下に述べる。まず、半導体基板をロードロックチャンバー 45 に導入する。半導体基板には絶縁膜が形成され、この絶縁膜には配線溝又は孔が形成されているものとする。次いで、ドライポンプ及びターボポンプを用いて、ロードロックチャンバー 45 を排気する。排気時間は約 5 分程度であり、排気後の真空度は 7×10^{-3} 乃至 8×10^{-3} Pa である。

【0125】その後、ロードロックチャンバー 45 とセパレーションチャンバー 51 との間のゲートバルブを開ける。この時、セパレーションチャンバー 51 は、クライオポンプ及びドライポンプ及びターボポンプによって、 5×10^{-5} 乃至 1×10^{-5} Pa 程度の真空度に保たれており、半導体基板は、真空を破ることなく、搬送用ロボット 52 によってセパレーションチャンバー 51 の内部に搬送される。

【0126】その後、先ず、半導体基板表面上の水分を飛ばし、アライニングを行うために、半導体基板を基板加熱ガス出しチャンバー 46 に搬送する。この時、基板加熱ガス出しチャンバー 46 は、ドライポンプ及びターボポンプによって、 6×10^{-5} Pa 程度の真空度に保たれている。基板加熱ガス出しチャンバー 46 の内部において、半導体基板を 150°C 乃至 200°C 程度に加熱し、半導体基板表面の水分を飛ばし、半導体基板の表面を清浄化する。

【0127】次に、半導体基板を基板加熱ガス出しチャ

ンバー46からセパレーションチャンバー51を経由してクリーニング用エッチングチャンバー47に搬送する。クリーニング用エッチングチャンバー47は、クライオポンプ、ターボポンプ及びドライポンプによって、 5×10^{-6} Pa程度の真空中に保たれている。

【0128】半導体基板をクリーニング用エッチングチャンバー47の内部に搬入した後、アルゴン(Ar)ガスまたは水素希釈Arガス($H_2/Ar=3\%$)を用いて、半導体基板のプラズマエッチングを行うことにより、半導体基板の表面、配線溝の内部及び孔の内部を還元清浄化する。

【0129】また、このプラズマエッチングには、孔及び配線溝の形状の角を削って、開口部を擬似的に広げ、埋め込み特性を向上させる効果もある。

【0130】次に、搬送用ロボット52によって、半導体基板をクリーニング用エッチングチャンバー47からスパッタチャンバー48に搬送する。スパッタチャンバー48においては、第一の実施例で挙げた高圧RFマグネトロンスパッタ法によるスパッタが実施される。スパッタチャンバー48の内部は、ドライポンプ、クライオポンプ及びターボポンプによって、 4×10^{-6} Pa程度の真空中に保たれている。

【0131】スパッタチャンバー48に導入された半導体基板は、第一及び第二の実施例において説明したようなRFパワーを瞬間的に切り替える方法によって、結晶性の窒素含有金属膜(結晶質の $\beta-Ta$ と結晶質の $TaN_{0.1}$ とからなる混合膜)と非晶質の金属窒化膜(Ta_2N)とを堆積させる。ここでは、ガス圧力10 Pa、基板温度200℃、 N_2 分圧比=2%とし、パワーを2 kWから8 kWに切り替えることにより、図6に示したような特性の下で、良好な埋め込み性の下に積層構造の拡散バリア膜を得ることができる。

【0132】最後に、半導体基板をスパッタチャンバー48から銅配線成膜チャンバー49に真空搬送する。真空搬送を行うため、拡散バリア膜の上層に位置する結晶性の窒素含有金属膜の表面は清浄に保たれる。この結晶性の窒素含有金属膜上に、化学気相堆積法(CVD法)により、配線溝及び孔を埋め込みながら銅を成膜する。銅配線成膜チャンバー49内はドライポンプ及びターボポンプにより 4×10^{-4} Pa程度の真空中に排気され

ている。

【0133】まず、半導体基板の温度を170乃至200℃程度に維持し、 $Cu(hfac)tmvs$ (トリメチルビニルシリルヘキサフルオロアセチルアセトネートカップ: $trimethylvinylsilylhexafluoroacetylacetonatecopper(I)$)を主とする原料1乃至2 g/分を液体輸送方式により気化器に導入する。気化器で気化された原料は窒素キャリアガスにより銅配線成膜チャンバー49内に導入され、その結果、銅配線成膜チャンバー

49内の圧力は約1 kPa程度に保たれる。

【0134】導入された原料ガスは半導体基板上で化学反応を起こし、銅膜となって半導体基板上に堆積される。ここでは、配線溝及び孔を十分に埋設するような膜厚、例えば、8000乃至15000 Å程度の膜厚になるように堆積する。

【0135】特に、CVD法を用いて銅の成膜を行う場合、CVD原料であるトリメチルビニルシリルヘキサフルオロアセチルアセトネートカップ($trimethylvinylsilylhexafluoroacetylacetonatecopper(Cu(hfac)tmvs)$)の中に含まれているフッ素(F)の拡散バリア膜の表面への偏析及び膜中への拡散並びに銅の拡散が密着性に大きな影響を及ぼす。

【0136】図28及び図29にSIMS法(Secondary Ion Mass Spectroscopy)により測定した拡散バリア膜中へのフッ素及び銅の拡散プロファイルをそれぞれ示す。

【0137】Ar雰囲気のスパッタにより得られる $\beta-Ta$ では、フッ素が銅とTaとの界面に偏析するため、密着性は悪くなる。一方、 Ta_2N では、フッ素が膜中に拡散するものの、銅をほとんど膜中に拡散させないため、原子間の結びつきが悪く、密着性は悪くなる。 $TaN_{0.1}$ では、銅及びフッ素を膜中に拡散させるため、原子間の結びつきが向上し、密着性が良好となる。

【0138】すなわち、CVD法によって銅を堆積する場合には、結晶質 $TaN_{0.1}$ /非晶質 Ta_2N の積層バリア構造が密着性及び拡散バリア性を極めて向上させるものであることがわかる。

【0139】以上のような過程を経ることにより、銅配線形成時に、半導体基板を大気に曝すことなく、銅配線膜を成膜できることから、拡散バリア膜の表面を清浄な状態に保つことが可能となり、CVD法で作製される銅の膜質が拡散バリア膜の表面のTa膜の結晶構造に反映しやすくなるため、銅の結晶配向性及び拡散バリア膜との密着性を向上させることが可能である。

【0140】

【第七の実施例】本実施例においては、図27に示したクラスタチャンバー50の銅配線成膜部(銅配線成膜チャンバー49に対応する領域)にスパッタチャンバー48が取り付けられている。拡散バリア膜の表面には、結晶性の $\beta-Ta$ を含んだ $TaN_{0.1}$ が存在するため、スパッタ法により成膜された銅膜との密着性は、CVD法により成膜された銅膜との密着性と同等に、保持される。

【0141】

【第八の実施例】本実施例においては、先ず、図27に示したクラスタチャンバー50から半導体基板を取り出す。この半導体基板は図30に示すような構造を有している。すなわち、第二の絶縁膜12bに形成されている

10

20

30

40

50

配線溝及び孔の表面には拡散バリア膜 17 が形成され、拡散バリア膜 17 上には銅下地膜 53 が形成されている。

【0142】この半導体基板に対して、メッキ法により、銅膜 54 を配線溝及び孔が埋め込まれるように成膜する。この結果、図 31 に示すように、積層バリア構造 17、CVD 法またはスパッタ法により形成された銅下地膜 53、メッキ法により形成された埋め込み銅構造 54 を作製することが可能となる。この後、例えば、図 4 に示したように、銅膜 54、銅下地膜 53、拡散バリア膜 17 を CMP 法により選択的に除去することにより、銅配線構造を得ることができる。

【0143】

【発明の効果】本発明により、以下のような効果を得ることができる。第 1 の効果は、銅に対する拡散バリア性及び密着性を兼ね備えた拡散バリア膜を得ることが可能になることである。これは、拡散バリア膜を、銅の拡散バリア性能の高い非晶質の金属窒化膜と密着性の高い結晶化した窒素含有金属膜とからなる積層構造として構成するためである。

【0144】第 2 の効果は、拡散バリア膜を同一チャンバーで連続的に成膜することが可能であることである。このため、装置コスト及び時間的コストを低減することが可能となる。

【0145】この理由は、スパッタ時にチャンバー内に導入するガスの窒素比を固定した状態で、スパッタパワーのみを瞬間的に変化させることにより、連続的に非晶質の金属窒化膜と結晶質の窒素含有金属膜とを成膜することが可能であるためである。この方法の場合、上層の金属膜には必然的に窒素が含有されることとなる。

【0146】第 3 の効果は、例えば、半導体基板を真空搬送する装置を用いることにより、拡散バリア膜の表面を清浄に保った状態で銅膜を成長させることが可能になり、銅配線の信頼性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第一の実施の形態に係る拡散バリア膜の製造方法における第一の工程を示す断面図である。

【図 2】本発明の第一の実施の形態に係る拡散バリア膜の製造方法における第二の工程を示す断面図である。

【図 3】本発明の第一の実施の形態に係る拡散バリア膜の製造方法における第三の工程を示す断面図である。

【図 4】本発明の第一の実施の形態に係る拡散バリア膜の製造方法における第四の工程を示す断面図である。

【図 5】第一の実施例における高圧 RF マグネトロンスパッタ装置の構成を示す概略図である。

【図 6】高圧 RF マグネトロンスパッタ方式における Ta 膜の埋め込み特性を示すグラフである。

【図 7】高圧 RF マグネトロンスパッタ方式において Ta 膜の埋め込み特性が向上する理由を説明するための断面図である。

【図 8】高圧 RF マグネトロンスパッタ方式において Ta 膜の埋め込み特性が向上する理由を説明するための断面図である。

【図 9】高圧 RF マグネトロンスパッタ方式において、チャンバーに導入する窒素ガスの比率を変化させた場合の RF パワーとスパッタ成長膜の比抵抗の変化との間の関係を示すグラフである。

【図 10】高圧 RF マグネトロンスパッタ方式における TaN 及び Ta 膜の成膜膜質特性を示すグラフである。

【図 11】高圧 RF マグネトロンスパッタ方式における TaN 及び Ta 膜の成膜膜質特性を示すグラフである。

【図 12】高圧 RF マグネトロンスパッタ方式における TaN 及び Ta 膜の成膜膜質特性を示すグラフである。

【図 13】高圧 RF マグネトロンスパッタ方式における TaN 及び Ta 膜の成膜膜質特性を示すグラフである。

【図 14】高圧 RF マグネトロンスパッタ方式における TaN 及び Ta 膜の成膜膜質特性を示すグラフである。

【図 15】高圧 RF マグネトロンスパッタ方式における TaN 及び Ta 膜の成膜膜質特性を示すグラフである。

【図 16】高圧 RF マグネトロンスパッタ方式における TaN 及び Ta 膜の成膜膜質特性を示すグラフである。

【図 17】高圧 RF マグネトロンスパッタ方式における TaN 及び Ta 膜の成膜膜質特性を示すグラフである。

【図 18】高圧 RF マグネトロンスパッタ方式における TaN 及び Ta 膜の成膜膜質特性を示すグラフである。

【図 19】高圧 RF マグネトロンスパッタ方式における成長膜の断面走査型電子顕微鏡写真である。

【図 20】高圧 RF マグネトロンスパッタ方式における成長膜の断面走査型電子顕微鏡写真である。

【図 21】高圧 RF マグネトロンスパッタ方式により形成された結晶性窒素固溶 Ta 膜及びアモルファス金属 TaN 膜とからなる拡散バリア膜の断面図である。

【図 22】高圧 RF マグネトロンスパッタ方式により形成された拡散バリア膜の断面走査型電子顕微鏡写真である。

【図 23】配線溝または孔に埋め込まれた拡散バリア膜の断面図である。

【図 24】第四の実施例における DC マグネトロンスパッタ装置の概略図である。

【図 25】下層配線及びビア孔を有する構造上に形成された配線溝及び孔を示した断面図である。

【図 26】複数の下層配線及びビア孔を有する構造上に形成された配線溝及び孔を示した断面図である。

【図 27】銅配線形成用クラスター装置の平面図である。

【図 28】拡散バリア膜中へのフッ素の拡散プロファイルを示すグラフである。

【図 29】拡散バリア膜中への銅の拡散プロファイルを示すグラフである。

【図 30】第七の実施例における銅配線構造の断面図である。

【図31】第七の実施例における銅配線構造の断面図である。

【図32】従来の銅配線構造の断面図である。

【図33】従来の銅配線構造の断面図である。

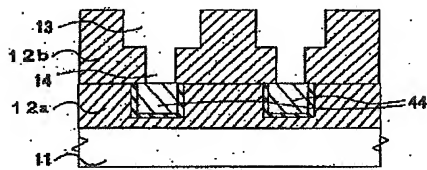
【図34】従来の銅配線構造の断面図である。

【符号の説明】

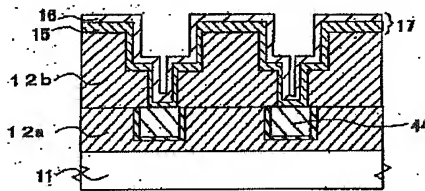
- 11 半導体基板
- 12a 第一の絶縁膜
- 12b 第二の絶縁膜
- 13 配線溝
- 14 孔
- 15 非晶質の金属窒化膜
- 16 結晶質の窒素含有金属膜
- 17 拡散バリア膜
- 18 銅膜
- 21 チャンバー
- 22 半導体基板
- 23 カソード
- 24 マグネット
- 25 RF電源

- *26 Arプラズマ
- 27 ターゲットホルダ
- 28 ターゲット金属
- 29 絶縁体
- 30 磁場
- 31 マスフローコントローラ
- 32 整合器
- 33 排気ポンプ
- 34 基板加熱ヒータ
- 10 41 DC電源
- 42 マグネット
- 44 銅配線
- 45 ロードロックチャンバー
- 46 基板加熱ガス出しチャンバー
- 47 クリーニング用エッチングチャンバー
- 48 スパッタチャンバー
- 49 銅配線成膜チャンバー
- 50 クラスタチャンバー
- 51 セパレーションチャンバー
- *20 52 搬送用ロボット

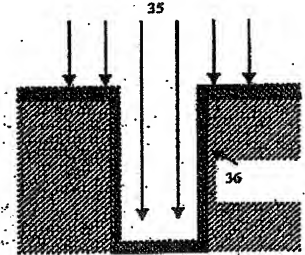
【図1】



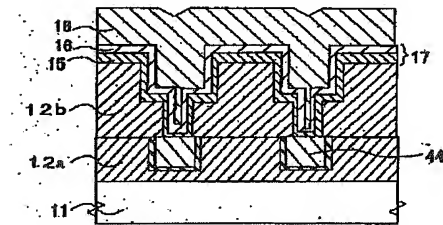
【図2】



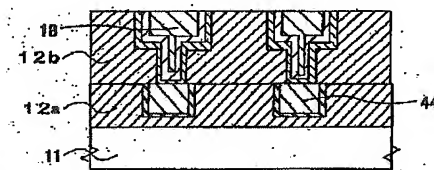
【図7】



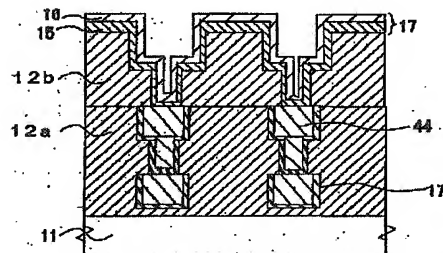
【図3】



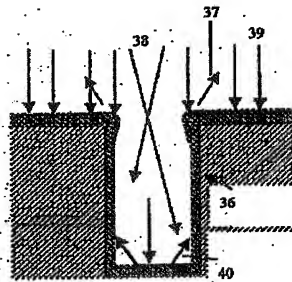
【図4】



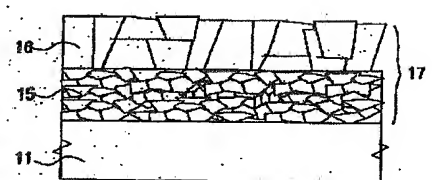
【図25】



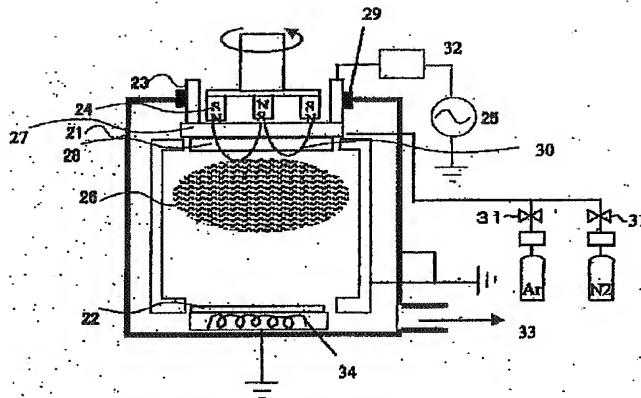
【図8】



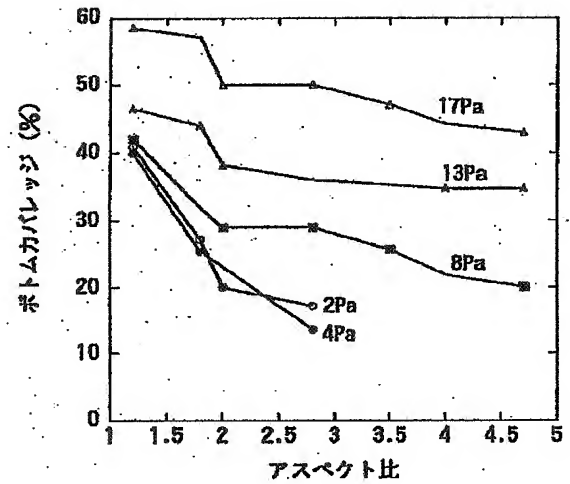
【図21】



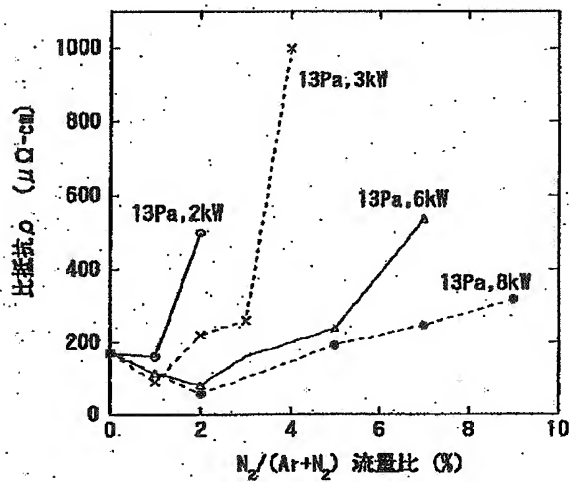
【図5】



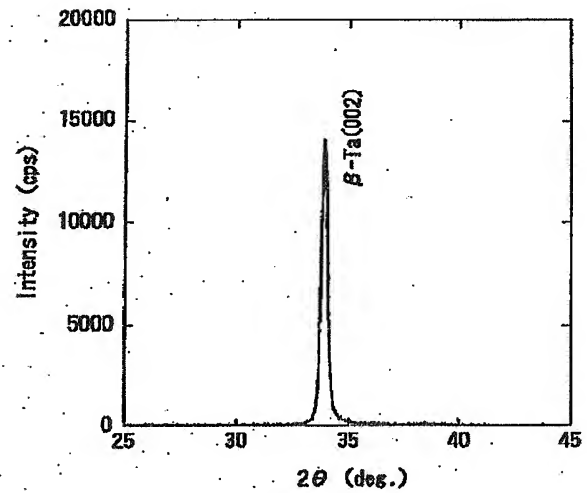
【図6】



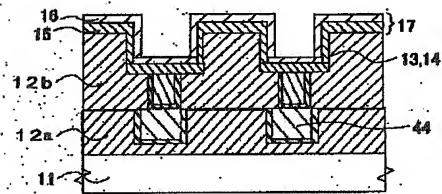
【図9】



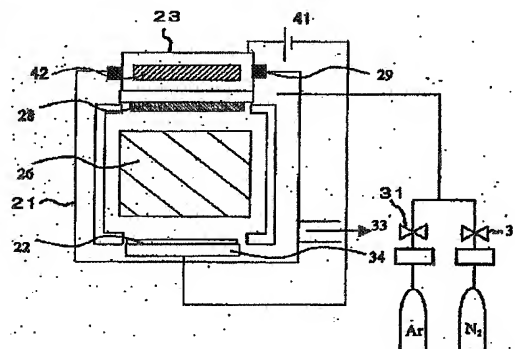
【図10】



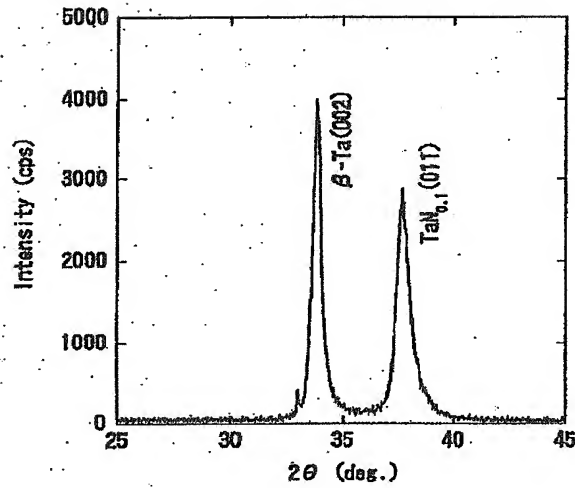
【図23】



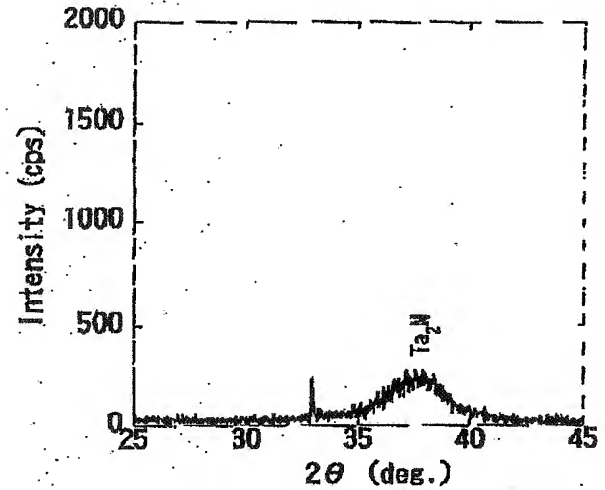
【図24】



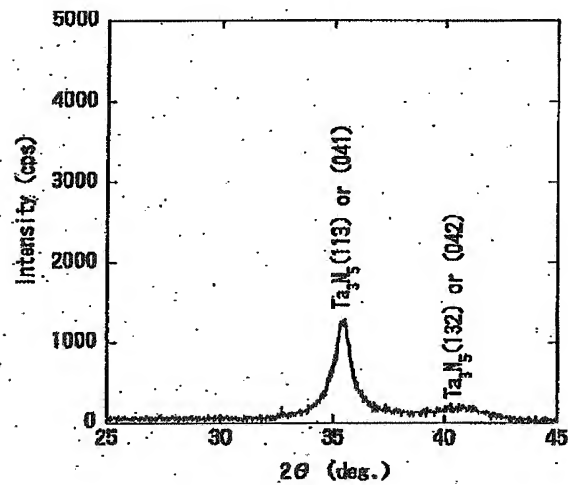
【図11】



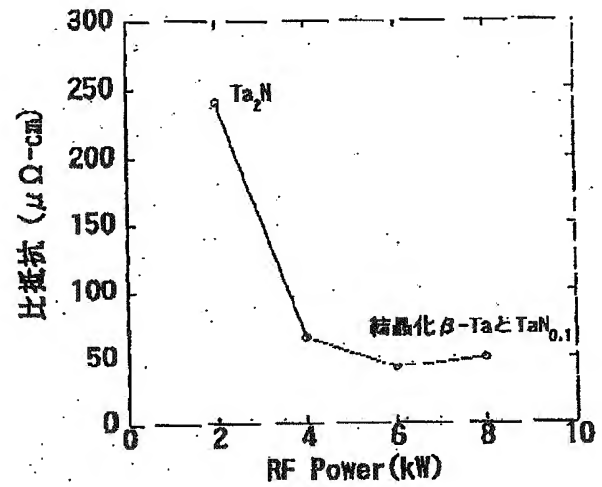
【図12】



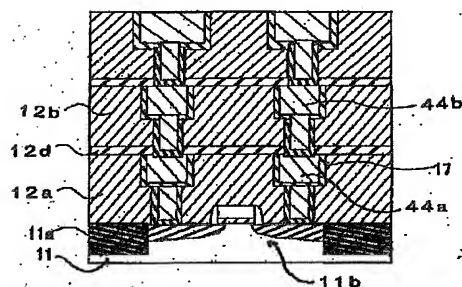
【図13】



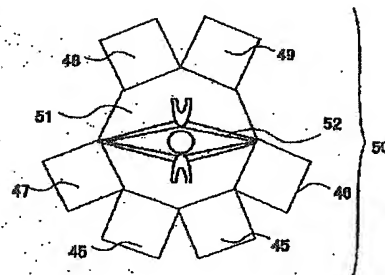
【図14】



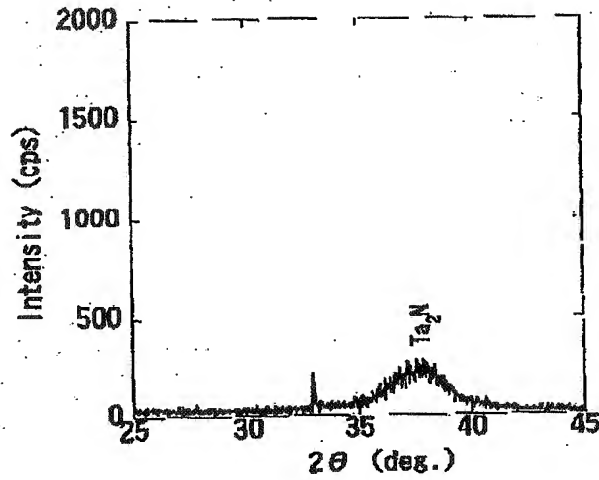
【図26】



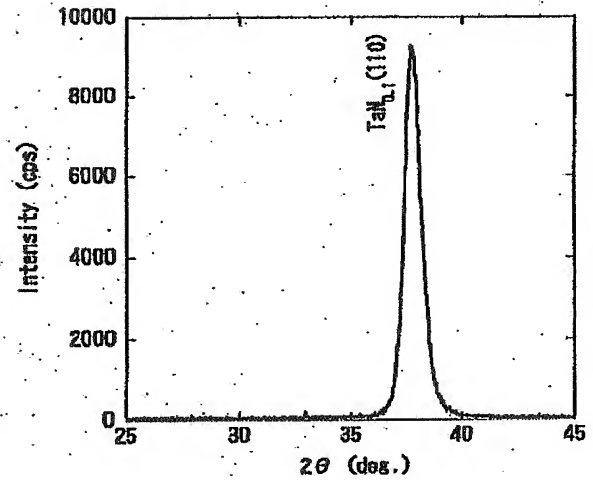
【図27】



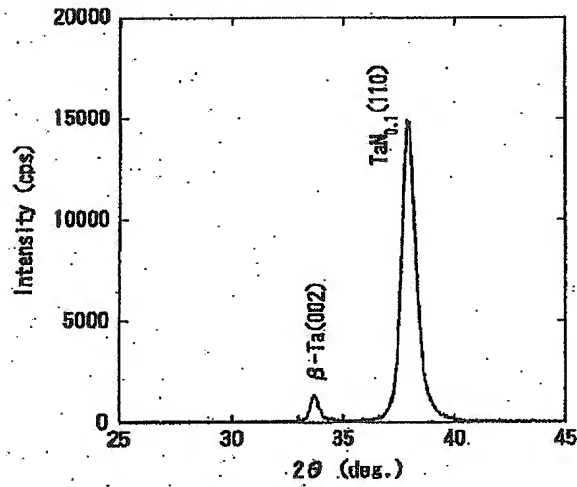
【図15】



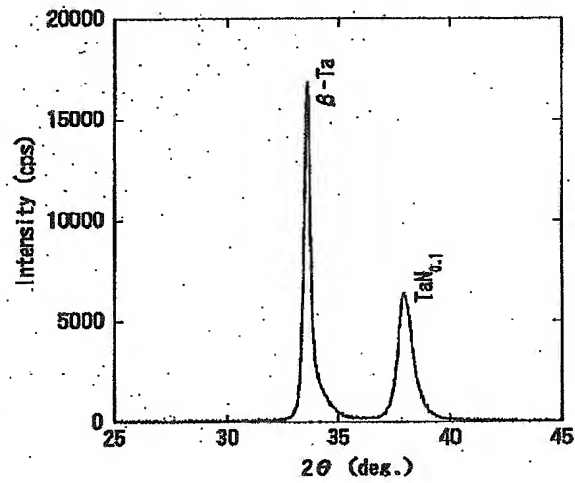
【図16】



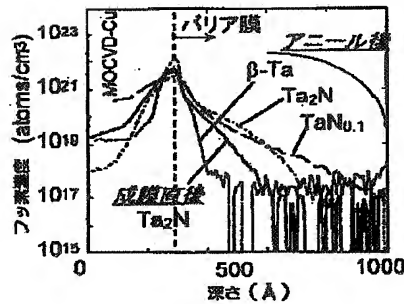
【図17】



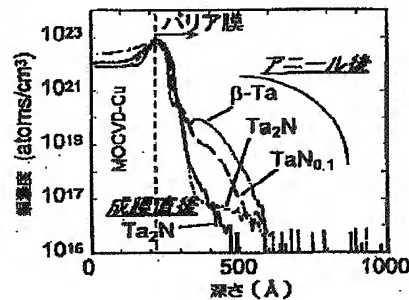
【図18】



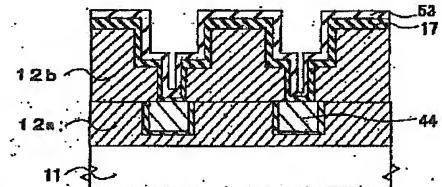
【図28】



【図29】

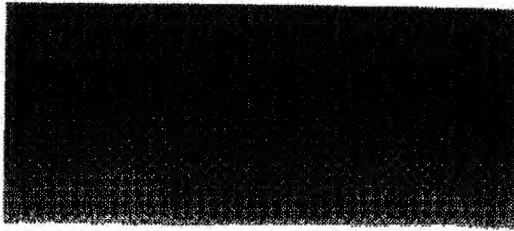


【図30】

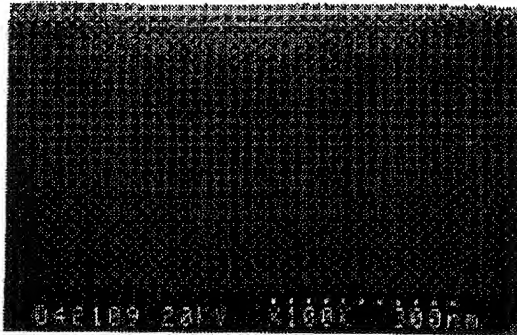


【図19】

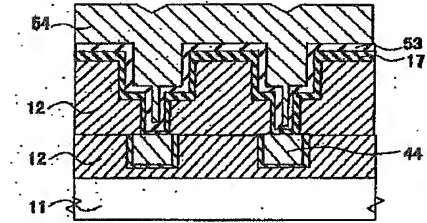
図面代用写真



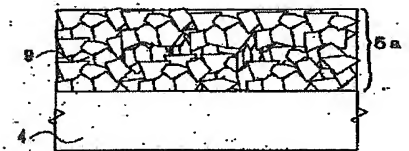
15 ~



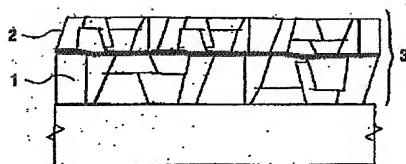
【図31】



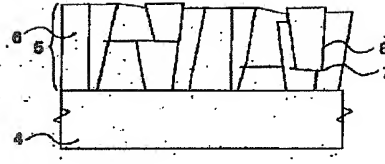
【図34】



【図32】

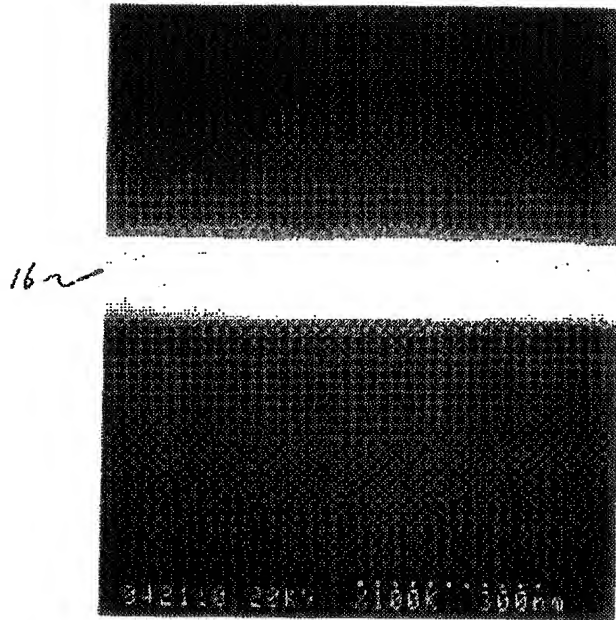


【図33】



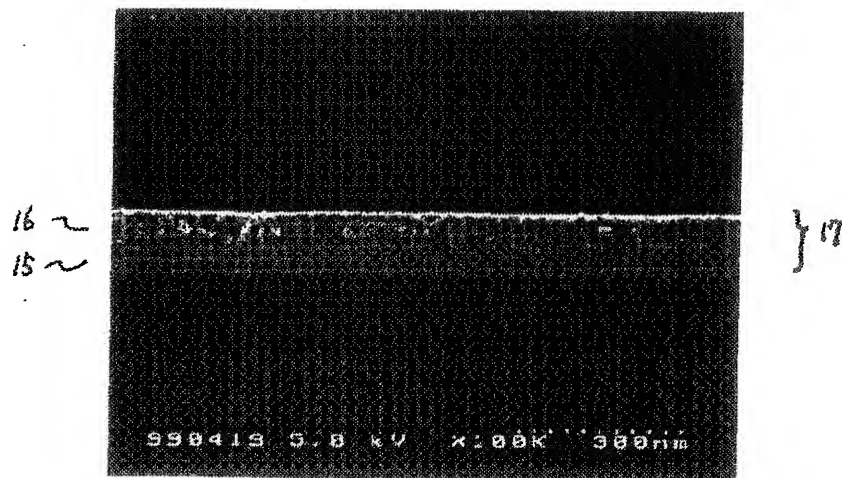
【図20】

図面代用写真



【図22】

図面代用写真



フロントページの続き

F ターム(参考) 4M104 BB29 BB30 BB31 BB32 BB33
BB37 CC01 DD16 DD17 DD23
DD37 DD42 DD43 DD52 DD53
FF18 FF22 HH08 HH13 HH20
5F033 HH11 HH32 HH33 HH34 JJ11
JJ32 JJ33 JJ34 KK11 KK32
KK33 KK34 LL06 MM01 MM02
MM12 MM13 NN06 NN07 PP06
PP15 PP16 PP27 PP28 PP33
QQ00 QQ12 QQ48 QQ92 QQ94
QQ98 RR04 RR06 TT02 WW02
WW04 WW05 WW07 WW10 XX02
XX13 XX20 XX28